

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08043651 A

(43) Date of publication of application: 16 . 02 . 96

(51) Int. Cl G02B 6/122

(21) Application number: 06183513

(71) Applicant: HOECHST JAPAN LTD

(22) Date of filing: 04 . 08 . 94

(72) Inventor: OKANIWA KO

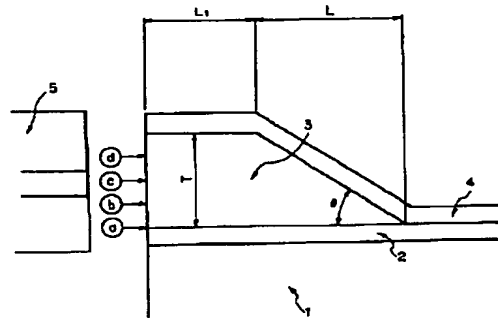
(54) OPTICAL WAVEGUIDE ELEMENT

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide an optical waveguide element which exhibits resistance to positional deviation between the light exit faces of an LD or optical fiber and the incident face of a waveguide and enables optical coupling with high efficiency.

CONSTITUTION: This optical waveguide element is constituted by further forming the second optical waveguide 3 having a refractive index n\_cp (n\_cp ≡ n\_g) on the first optical waveguide 2 which is formed on a clad layer 1 having a refractive index n\_c1 and has a refractive index n\_g (n\_g > n\_c1). The sectional shape of the second optical waveguide 3 has a tapered structure of the film thickness decreasing successively according to parting from the contact surface with the first optical waveguide 2, and further, the taper angle &theta; of the tapered structure is so set as to satisfy the equations. The equations &theta;\_a = {90° - arcsin(n\_eff/n\_cp)}/2, &theta; ≤ 2.0&theta;\_a, where n\_eff is the effective refractive index of the first optical waveguide 2.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-43651

(43) 公開日 平成8年(1996)2月16日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/122			G 0 2 B 6/12	A

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平6-183513  
 (22) 出願日 平成6年(1994)8月4日

(71) 出願人 000113137  
 ヘキストジャパン株式会社  
 東京都港区赤坂8丁目10番16号  
 (72) 発明者 岡庭 香  
 埼玉県川越市南台1-3-2 ヘキスト  
 ジャパン株式会社先端材料技術研究所内  
 (74) 代理人 弁理士 湯浅 恭三 (外6名)

(54) 【発明の名称】 光導波路素子

(57) 【要約】

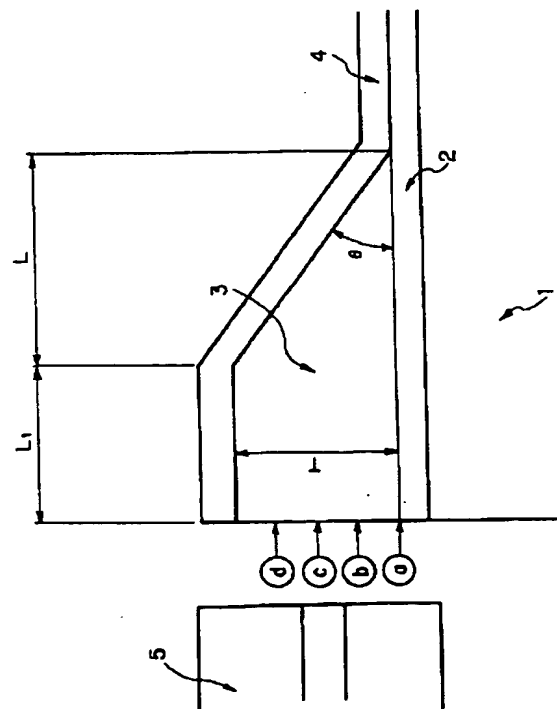
【目的】 LDや光ファイバーの光出射面と導波路光入射面の位置ずれに対する耐性を示し、高効率の光結合を可能にする光導波路素子を提供すること。

【構成】 屈折率  $n_{c1}$  を有するクラッド層上に形成された屈折率  $n_g$  ( $n_g > n_{c1}$ ) を有する第1の光導波路上に、さらに屈折率  $n_{cp}$  ( $n_{cp} \geq n_g$ ) を有する第2の光導波路が形成されている光導波路素子であって、前記第2の光導波路の断面形状が、前記第1の光導波路との界面から離れるにしたがい膜厚が減少していくテーパ構造を有し、さらに前記テーパ構造のテーパ角度  $\theta$  が次式：

$$\text{【数1】 } \theta_a = \{ 90^\circ - \arcsin(n_{eff} / n_{cp}) \} / 2 \quad (1)$$

$$\text{【数2】 } \theta \leq 2.0 \theta_a \quad (2)$$

(上式において、 $n_{eff}$  は、前記第1の光導波路の実効屈折率である。) を満たす光導波路素子。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】屈折率 $n_{c1}$ を有するクラッド層上に形成された屈折率 $n_g$  ( $n_g > n_{c1}$ )を有する第1の光導波路上に、さらに屈折率 $n_{cp}$  ( $n_{cp} \geq n_g$ )を有する第2の光導波路が形成されている光導波路素子であつて、

$$\theta_a = \{ 90^\circ - \arcsin(n_{\text{eff}} / n_{cp}) \} / 2 \quad (1)$$

## 【数2】

$$\theta \leq 2.0 \theta_a$$

(上式において、 $n_{\text{eff}}$ は、前記第1の光導波路の実効屈折率である。)を満たす光導波路素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は光集積化素子の光素子間の光結合の改善に関するものであり、更に詳しくは、光集積回路をはじめとする光導波路素子の設計に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体レーザ(以下「LD」ともいう)、光変調素子、フォトダイオード(以下「PD」ともいう)などの光素子をひとつの基板上に集積し、各素子間を光導波路により結合したいいわゆる光集積回路は、光学系の小型軽量化、安定化、高性能化をはかることを目的とし、次世代の技術として研究が盛んに行われている。このような集積化された光素子を作製する際には、個々の光素子作製も重要であるが、光素子間の結合は最も重要な要素であり、光結合効率を高くすることが求められている。ところが、従来の光結合では、LDや光ファイバーの光出射面の大きさや形、また屈折率が導波路素子のそれら(または、光導波路の出射端面のそれらと、光ファイバー、PD等の入射端面のそれら)と一致しないのが一般的で、そのため光結合効率を高めるのは原理的に困難であった。また、たとえ光ファイバーの光出射面の大きさ、屈折率に導波路素子のそれらを近づけたとしても、空間的に光ファイバーの出射面と導波路の入射面を精度良く結合させる微調整が必要で、この繁雑さが結局その光導波路素子を高価なものにしていた。

【0003】このような導波路素子に対する光結合効率の改善のための検討は、Y. Cai, T. Mizumoto, E. Ikegami, Y. Naito: J. Lightwave Technol. vol. 9, No. 5, 1991, pp577-

$$\theta_a = \{ 90^\circ - \arcsin(n_{\text{eff}} / n_{cp}) \} / 2 \quad (1)$$

## 【数4】

$$\theta \leq 2.0 \theta_a$$

(上式において、 $n_{\text{eff}}$ は、前記第1の光導波路の実効屈折率である。)を満たす光導波路素子を提供するものである。本明細書において、テーパ角度 $\theta$ とは、図1に示されるように厚み方向のテーパ構造におけるテーパ角度を意味する。

【0006】以下、前述の第1の光導波路を主導波路、第2の光導波路を光結合用導波路と呼ぶことにする。テーパ形状をもつ光結合用導波路において、入射光はテー

2

前記第2の光導波路の断面形状が、光導波路の端面から離れるにしたがい膜厚が減少していくテーパ構造を有し、

さらに前記テーパ構造のテーパ角度 $\theta$ が次式:

## 【数1】

$$(1)$$

$$(2)$$

583, Y. Cai, T. Mizumoto, Y. Naito: Trans. IEICE, vol. E71, No. 10, 1988, pp931-933, 特開平4-308803、特開平4-240809、特開昭63-94205、特開昭60-133408、特開昭63-163407、特開平4-255270、特開平5-173036、特開平5-63216、特開平4-283704、R. G. Hunsperger著、Springer Series in Optical Sciences, Integrated Optics: Theory and Technology, Second Edition (Springer-Verlag 1985) p102, など多数なされているが、いずれも詳しい解析をしてみると、それら文献に記載の条件では、高効率の光結合は一般には達成されないことがわかる。したがって、特にLDや光ファイバーの光出射面と導波路光入射面の位置ずれに対する耐性を示す高効率の光結合方法およびその条件は見いだされていないのが現状である。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、上記の従来技術の問題点を解決し、各素子が本来有する性能を十分に発揮しうる光結合用導波路素子を提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的は、以下に示す構造を有する本発明の光導波路素子により達成される。すなわち、本発明は、屈折率 $n_{c1}$ を有するクラッド層上に形成された屈折率 $n_g$  ( $n_g > n_{c1}$ )を有する第1の光導波路上に、さらに屈折率 $n_{cp}$  ( $n_{cp} \geq n_g$ )を有する第2の光導波路が形成されている光導波路素子であつて; 前記第2の光導波路の断面形状が、光導波路の端面から離れるにしたがい膜厚が減少していくテーパ構造を有し; さらに前記テーパ構造のテーパ角度 $\theta$ が次式:

## 【数3】

$$(1)$$

$$(2)$$

パ部内でジグザグに反射を繰り返す、そのたびに反射角度を大きくして徐々に主導波路内に結合されていくと考えられているが、これは必ずしも正しくない。シングルモード光導波路では位相整合を満たす入射角度は基本的にひとつしか存在しない(ただし、許容幅は存在する)。反射角度はテーパ角度 $\theta$ の2、4、6…倍になり、このうちのひとつが光導波路の位相整合条件を満たす入射角度に一致したときに結合される。逆にいえば、

## 3

多数回反射した光は主導波路内に結合されない確率の方が高く、さらにテーパ角度 $\theta$ に特に限定条件がなくてそれが位相整合条件を満たさないときは結合されにくい。特に、テーパ角度が(1)式で与えられる $\theta_a$ の2倍よりも大きくなると、結合効率は極めて低下する。

【0007】本発明では、光結合用導波路に入射した光波をテーパ部で1回反射させ、主導波路に結合させることを意図している。本発明の光導波路素子の設計のために必要となる条件は、与えられた主導波路の実効屈折率 $n_{eff}$ 、および光結合用導波路の屈折率 $n_{cp}$ である。主導波路の実効屈折率 $n_{eff}$ は、一般に数値計算により得られる。具体的な計算方法は、たとえば、岡本勝就著「光導波路の基礎」(コロナ社、1992)などに述べられている。一般に同一の $n_g$ 、 $n_{c1}$ であれば、スラブ導波路における導波層の厚み、チャンネル型導波路における導波チャンネルの大きさが大きいほど $n_{eff}$ は大きくなり、さらに大きいところでは高次モードが生じ、高次モードの $n_{eff}$ は低次モードの $n_{eff}$ より小さくなる。また、同一のスラブ導波路における導波層の厚み、チャンネル型導波路における導波チャンネルの大きさがあれば、 $n_g^2 - n_{c1}^2$ が大きいほど $n_{eff}$ は大きくなり、さらに大きいところでは高次モードが生じる。

【0008】本発明の光導波路素子の主導波路には下部クラッド層が設けられている。この下部クラッド層の下にはさらに基板が設けられていてもよく、また下部クラッド層自体が基板としての役割を兼ね備えていてもよい。また、光結合用導波路には上部クラッド層が設けられていてもよい。さらに主導波路の種類は特に制限されず、例えばスラブ型光導波路やチャンネル型光導波路を用いることができる。

【0009】本発明は、導波層、クラッド材、光結合用導波路等の材料を限定するものではなく、本技術分野において通常用いられているものを使用することができる。主導波路における導波層とクラッド材材料との組み合わせとして代表的なものとして、コーニング<sup>TM</sup>7059とパイレックス<sup>TM</sup>ガラスとの組み合わせ； $Ag^+$ 、 $Tl^+$ 、 $K^+$ 等の無機イオンを拡散させたガラスと拡散させないガラスとの組み合わせ； $Ti^+$ 、 $H^+$ 、 $Nb^+$ 、 $Cu^{++}$ 等を拡散させた $LiNbO_3$ と $LiNbO_3$ との組み合わせ； $Ta_2O_5$ 、 $Nb_2O_5$ またはこれらと $SiO_2$ の混合物とガラスまたは $SiO_2$ との組み合わせ；ポリウレタン、エポキシ、ポリメチルメタクリレート、ポリカーボネート、ポリスチレン、ポリイミド、ポリアミド、フォトポリマー等のポリマーとガラスとの組み合わせ等の種々の組み合わせを挙げることができる。

【0010】本発明はまた、主導波路、光結合用導波路の作製方法を限定するものでもない。主導波路の作製方法は、例えばガラスを材料とする場合は火炎堆積法、スパッタリング法、イオン拡散法； $LiNbO_3$ を材料とする場合はイオン拡散法；ポリマーを材料とする場合は

## 4

スピンコーティング法；特にチャンネル型導波路の場合には通常のリソグラフィ法を組み合わせることができ。また、テーパ型の光結合用導波路の作製方法としては、特願平6-126529に記載のティザ方式により濃淡をつけたフォトマスクを用い、フォトポリマーを露光硬化し、現像によりテーパ形状を得る方法；はじめにフィルム状の光結合用導波路材料をコーティングし、さらにフォトレジストをコーティングし、これを前述の濃淡のついたフォトマスクを用い露光し、まずフォトレジストにテーパ形状を施し、エッチングにより目的の形状を得る方法等種々の方法が可能である。

【0011】また、本発明の光導波路素子は、主導波路への入射のみならず、主導波路からの出射にも応用できる。ただし、出射に用いる場合は、図2のように主導波路の導波層、導波チャンネルにテーパ形状を施す必要がある。さらに、双方向の光結合が必要な場合には、図3や特開昭63-94205に記載されているように、光結合用導波路、主導波路の導波層、導波チャンネルの両方にテーパ形状を施す必要がある。ただし、いずれの場合にも、テーパ角度 $\theta$ に関して、(1)および(2)式を満たしていなければならない。図1中の $L_1$ で示される光結合用導波路のスラブ型部分の長さは限定されるものではなく、 $L_1=0$ であってもよい。

【0012】

【実施例】以下に実施例および試験例をもってさらに詳しく本発明を説明する。

【0013】[実施例1] 図1に示す光導波路素子を、以下に示す手順でそれぞれ作製した。

【0014】メタクリル酸メチル(MMA)とメタクリル酸グリシジル(GMA)をモル比3対7でテトラヒドロキシフラン(THF)中に溶解し、モノマー濃度が約10重量%の溶液を調製した。これに、反応開始剤として2, 2'アゾビス(インプロクロニトリル)(AIBN)を上記モノマーに対し約2モル%加え、窒素雰囲気下70℃で約5時間反応させた。その後、生成したポリマーをメタノールおよびTHFで再沈することによって精製した。得られたポリマーをトルエンに溶解し、過剰量の桂皮酸を加えて、110℃で約5時間反応させた。更に、トルエンを除去し、酢酸エチルと炭酸水素ナトリウム飽和水溶液を用いて得られたポリマーを精製した。溶媒を除去した後、ポリマーと光重合開始剤2, 2-ジメトキシフェニルアセトフェノン(DMPA)をシクロヘキサノン中に溶解した(以後これを「ポリマー溶液A」と呼ぶ)。

【0015】石英系イオン交換光導波路をスピンコートし、ホットプレート上で溶媒を蒸発させた。テーパ状光結合用導波路となる部分がドットにより濃淡をつけてあるフォトマスクを用いて露光し、未露光の部分をメタノールとN-メチル-2-ピロリドンの混合溶液で現像した。この上にさらにポリメタクリル酸メチル(PMM

5

A) のシクロヘキサノン溶液をスピンコートし、ホットプレートで溶媒を蒸発させ、クラッド層を形成した。

【0016】このようにして得られた光導波路素子に、単一モードファイバからの1.3μmの光を結合した。その結果、結合の位置ずれに対する耐性が増し、結合効率が向上しているのが確認された。

【0017】〔試験例1〕入射光の位置ずれによる影響を検討するために、以下の試験を行った。

【0018】(1)本発明の光導波路素子に対する検討図1における基板1の屈折率 $n_{c1}$ が1.542、導波層2の屈折率 $n_g$ が1.550(これらの値は、波長1.32μmにおけるフッ素化ポリイミドや、色素をわずかに付加させたフッ素化ポリイミドの屈折率の典型的な値である)、導波層2の厚みが4μmである図1のスラブ型の主導波路部分(導波層)のTEモードには、図4に示すようにTE0モードとTE1モードが存在し、TE0モードの実効屈折率 $n_{eff}$ は1.547と求められる。本素子の光結合用導波路部分の屈折率 $n_{cp}$ を1.550としたため、 $\theta_a$ は(1)式により1.7856°と計算される(テーパ角 $\theta$ もこれと一致させた)。光結

6

合用導波路の長さLは1283μmとなる。この光導波路素子について、入射光ビームの幅を10μmとし、その入射位置を図1のbの位置(光結合用導波路と主導波路との境界より、光結合用導波路側へ10μmの位置)として、詳しいビーム伝搬の様子をビーム伝搬法(BPM)により計算したところ、図5に示す結果が得られた(以下に示す種々の光導波路素子に対する検討でも、図5に類する結果がそれぞれ得られたが、本明細書では特にこれらを図示しないことにする)。

10 【0019】上記と同一の条件で入射位置を、図1のa、c、dの位置(光結合用導波路と主導波路との境界より、光結合用導波路側へそれぞれ0、20、30μmの位置)に変えて、同様の計算を実施した。また、 $n_{cp}$ 、 $\theta$ 、Lを以下の表に示す値に変えた光導波路素子も作製し、a~dの位置から入射させた場合についても検討した。各々の素子について計算された、結合損失および結合に起因する導波損失を以下の表にまとめて示した。

【0020】

20 【表1】

番号	$n_{cp}$	$\theta$	L (μm)	入射位置	損失 (dB)
1	1.550	1.7856°	1283	a	9.916
2	1.550	1.7856°	1283	b	3.673
3	1.550	1.7856°	1283	c	4.467
4	1.550	1.7856°	1283	d	9.200
5	1.560	3.7024°	618.1	a	14.430
6	1.560	3.7024°	618.1	b	3.875
7	1.560	3.7024°	618.1	c	3.592
8	1.560	3.7024°	618.1	d	19.118

(2) 対照用光導波路素子に対する検討

光結合用導波路を形成せず主導波路のみを有する対照用光導波路素子を用いて、光ファイバーの位置ずれに関する影響を検討し、本発明の光導波路素子と比較した。

【0021】図6に示す光導波路素子において、基板1の屈折率を1.542、導波層2の屈折率を1.550、導波層2の厚みを4μmとしたとき、このスラブ型の主導波路部分の実効屈折率 $n_{eff}$ は図4から1.54

7となる。入射光ビームの幅を10μm、入射位置を導波層2の中心から以下の表に示す距離だけ上部クラッド側へずらして、詳しいビーム伝搬の様子を計算した。各々の場合の結合損失および結合に起因する導波損失は以下の表に示す通りであった。

【0022】

【表2】

番号	中心からのずれ (μm)	損失 (dB)
9	0	0.628
10	2	1.532
11	4	4.102
12	6	8.020
13	8	11.934

以上の試験結果を図7にまとめて示した。このグラフから、本発明の光導波路素子は入射光の位置ずれが大きくても損失が小さいことが明らかになった。

【0023】〔試験例2〕テーパ形状の作製精度の影響を確認するために、テーパ角度 $\theta$ と導波損失の関係について検討した。

【0024】試験例1(1)と同一の条件でテーパ角度 $\theta$ を変えたときに導波損失がどのように変化するかを検討した。図1のTは40μmに固定し、Lの長さを変えることによってテーパ角度 $\theta$ を変化させた。入射光ビームの幅を10μm、入射位置を図1のbの位置にして、

50 詳しいビーム伝搬の様子を計算した。結果は、以下の表

に示す通りであった。

【0025】

【表3】

番号	$\theta / \theta_a$	$\theta$	L ( $\mu\text{m}$ )	導波損失 (dB)
14	0.3	0.5°	4585	3.689
15	0.8	1.4285°	1604	4.054
16	0.9	1.6070°	1426	4.327
17	1.1	1.9642°	1166	4.291
18	1.2	2.1427°	1069	4.131
19	1.4	2.5°	916	4.099
20	1.68	3.0°	763	5.272
21	1.96	3.5°	653	6.916
22	2.2	4.0°	572	7.951
23	2.5	4.5°	508	8.759
24	2.8	5.0°	457	9.658

以上の試験結果をまとめて図8に示した。このグラフから、テーパ角度 $\theta$ が大きいくほど損失は大きくなり、特に $\theta$ が $\theta_a$ の2倍以上になると受容しえない程度の損失を招くことが明らかになった。

【0026】

【発明の効果】本発明の光導波路素子は、LDや光ファイバーの光出射面と導波路光入射面の位置ずれに対する耐性を示し、高効率の光結合を可能にする点で優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】入射用光結合用導波路および主導波路を有する本発明の光導波路素子を表す図である。

【図2】出射用光結合用導波路および主導波路を有する本発明の光導波路素子を表す図である。

【図3】双方向光結合用導波路および主導波路を有する本発明の光導波路素子を表す図である。

【図4】主導波路に関するモード分散曲線を表す図である。

る。

【図5】ビーム伝送法計算の結果を表す図である。

【図6】端面結合している従来の光導波路素子を表す図である。

【図7】光結合の位置ずれに対する損失を表すグラフである。

A：試験番号9-13（光結合用導波路がない場合）

B：試験番号1-4

C：試験番号5-8

【図8】テーパ角度に対する損失を表すグラフである。

【符号の説明】

1…基板（下部クラッド）

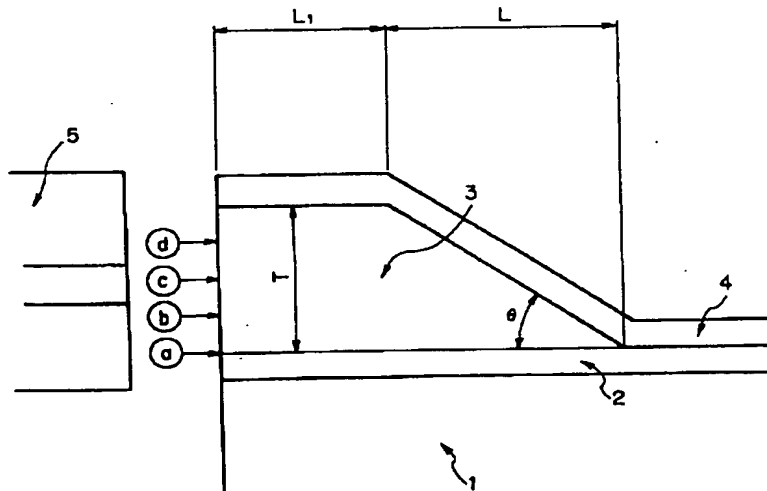
2…導波層（主導波路）

3…光結合用導波路

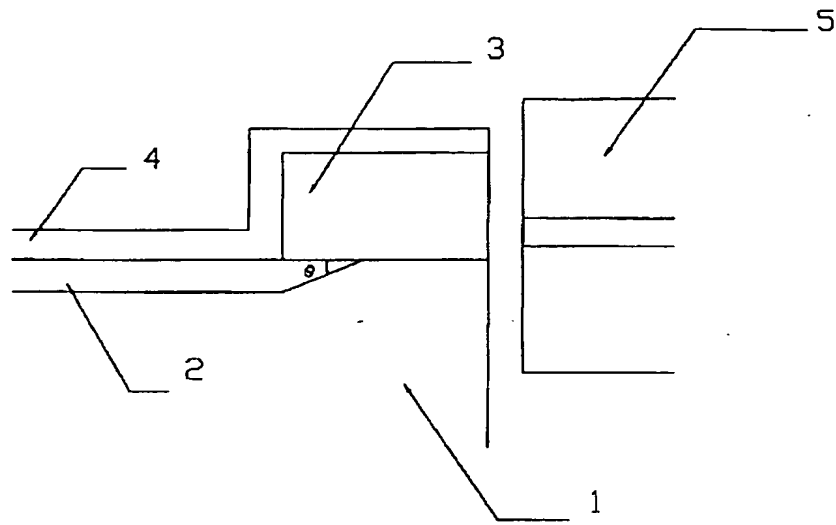
4…上部クラッド

5…光ファイバー

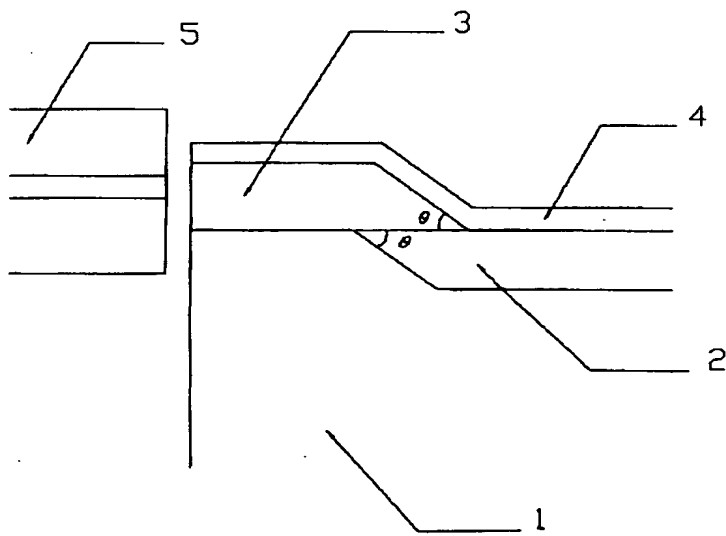
【図1】



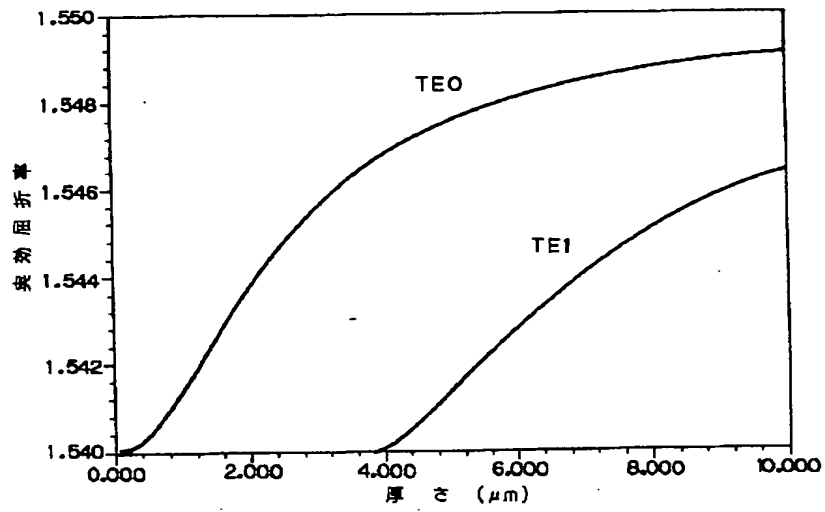
【図2】



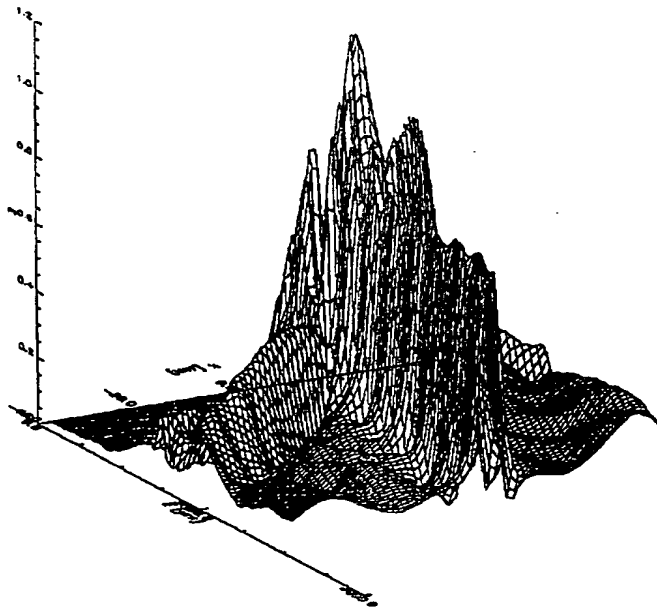
【図3】



【図4】

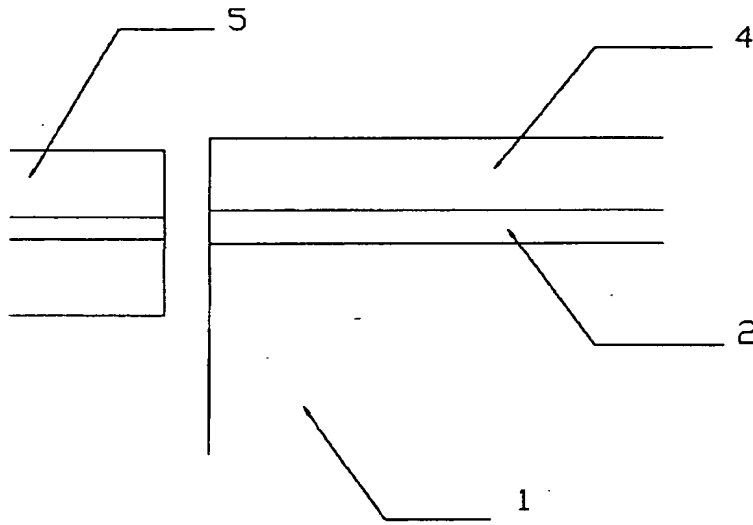


【図5】

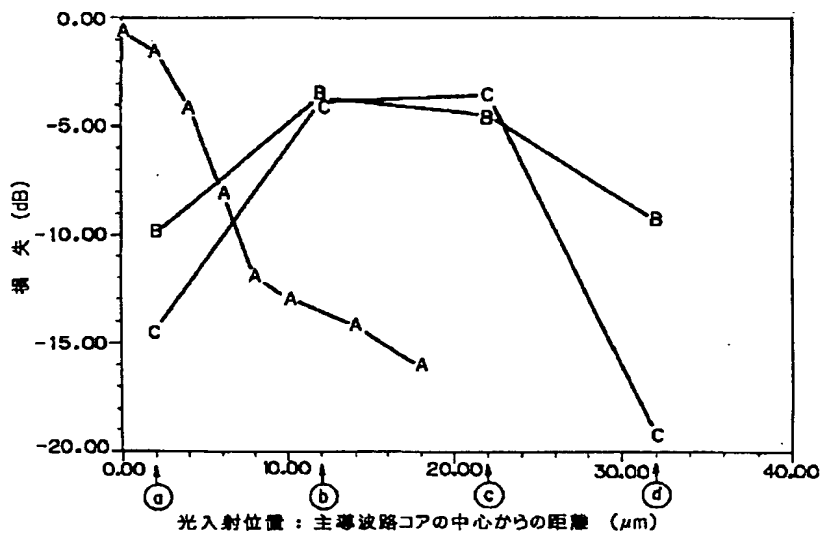




【図6】



【図7】



【図8】

